Capítulo 2

Realidade Aumentada

Marcelo da Silva Hounsell
Romero Tori
Claudio Kirner

Neste capítulo vamos nos aprofundar na Realidade Aumentada (**RA**) que é uma tecnologia que vem recebendo muita atenção recentemente e já está madura e robusta para uso em várias áreas do conhecimento humano. Vamos apresentar definições, técnicas e tecnologias envolvidas, comparações com a Realidade Virtual (RV), terminando com um panorama de aplicações. Ao final deste capítulo, abordaremos também outras denominações e visões de realidade mediada por computador.

O capítulo está estruturado de forma a apresentar a área inicialmente de uma forma ampla, apresentando classificações para que o leitor possa ter uma visão geral da área. Mais ao final, procurou-se distinguir os aspectos relacionados aos dispositivos de entrada, dispositivos de saída e de processamento de um sistema de RA.

Quando terminar de ler este capítulo você vai ter uma visão mais ampla e crítica sobre estas tecnologias, o que ela oferece e até onde pode chegar. Saber identificar qual tipo de solução se adequa melhor ao seu problema é uma arte mas, requer sólidos conhecimentos dos fundamentos das diversas alternativas, como as que serão apresentadas aqui.

2.1 Introdução

A evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), incluindo o poder de processamento dos computadores, o barateamento dos dispositivos, a velocidade da comunicação e a disponibilidade de aplicativos gratuitos - tudo isto ocorrendo tanto nos computadores quanto nos dispositivos móveis - vem promovendo a consolidação de várias tecnologias, dentre elas a RA.

A RA, se beneficiou dessa evolução, tornando viáveis, acessíveis e populares, aplicações que antes só existiam em ambientes acadêmico, de pesquisa ou industriais, baseados em plataformas sofisticadas. Ao mesmo tempo, pesquisas têm feito evoluir o potencial dessa tecnologia, trazendo-a para aplicações cotidianas, a ponto de chamar a atenção de grandes empresas como Microsoft, Apple, IBM, HP, Sony, Google, Facebook, dentre outras (Ling, 2017).

A RA, tanto quanto a RV, vêm apresentando um crescimento significativo em termos mundiais quando se considera o número de artigos publicados nas principais revistas científicas da área tecnológica, como as publicadas pelo IEEE e pela ACM, como mostra o gráfico do levantamento feito até 2012, Figura 2.1. Esse crescimento vem ocorrendo recentemente também, como complementa o gráfico da Figura 2.2. Tais

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

constatações reforçam a importância da área, bem como a utilidade da tecnologia e sua perspectiva de futuro. Pode-se concluir então que a RA é uma área de estudo e aplicação tecnológica em franca expansão, tanto do ponto de vista acadêmico quanto comercial.
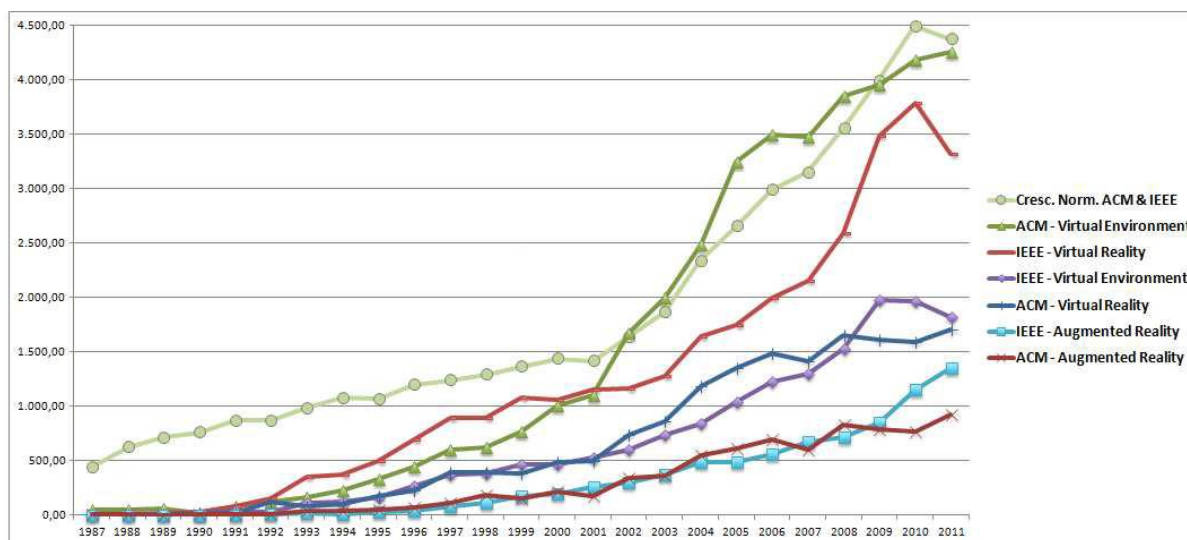
Figura 2.1: Evolução das publicações envolvendo RV e RA (Buchinger, Juraszek, Hounsell, 2012).
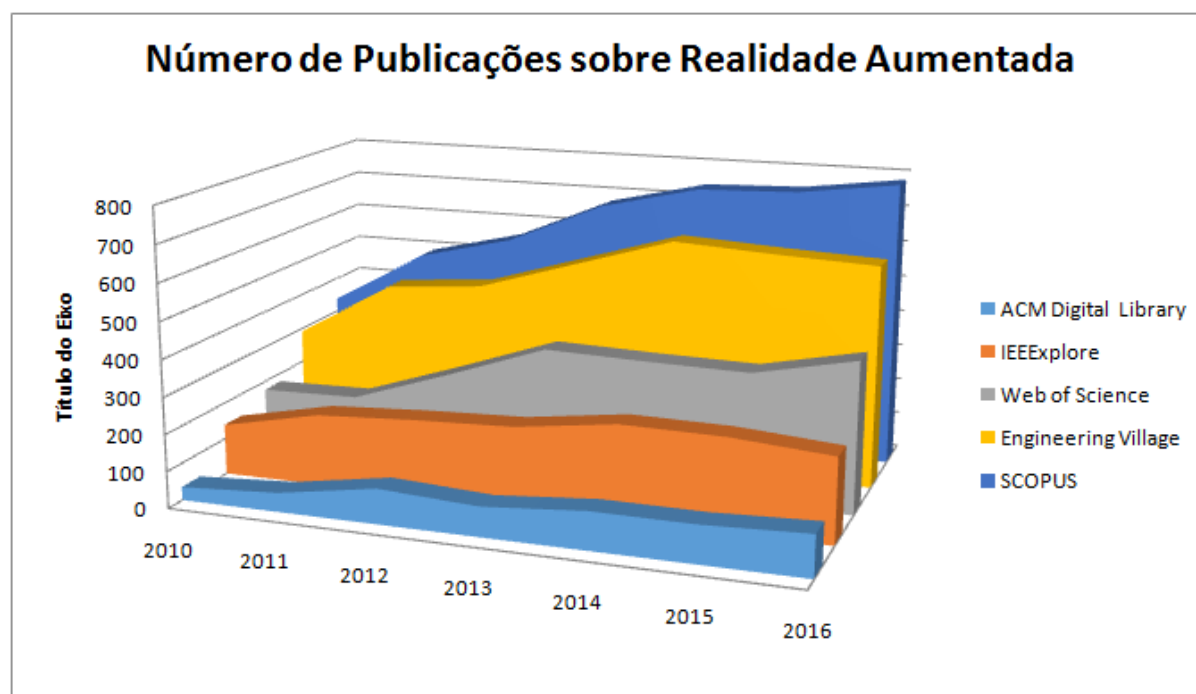
Figura 2.2: Crescimento da RA nos principais Mecanismos de Busca Acadêmica.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

A RA, enriquece o ambiente físico com objetos sintetizados computacionalmente, permitindo a coexistência de objetos reais e virtuais, podendo ser ser considerada uma vertente da RV, ainda que, inicialmente tenham sido desenvolvidas indistintamente. Também, a RA já foi considerada uma ramificação da Realidade Misturada (**RM,** já mencionada no Capítulo 1 e que será detalhada na seção 2.7.1). De fato, RA e RM têm muito em comum em termos práticos e têm sido usadas como sinônimo. Neste capítulo vamos diferenciar e aprofundar estes dois termos para que você possa ter uma ideia mais clara desses conceitos. No restante do livro, no entanto,consideramos a RA como uma tecnologia “relacionada” à RV e não “um tipo de” RV, além de tratar a RA em seu sentido lato, que abrange também a RM.

Diferentemente da RV, que transporta o usuário para um outro ambiente virtual fazendo-o abstrair completamente o ambiente físico e local, a RA mantém referências para o entorno real, transportando elementos virtuais para o espaço do usuário. O objetivo é que o usuário possa interagir com o mundo e os elementos virtuais, de maneira mais natural e intuitiva sem necessidade de treinamento ou adaptação. Esta interação pode ser feita de maneira direta (com a mão ou com o corpo do usuário) ou indireta (auxiliada por algum dispositivo de interação). Se vários dispositivos competem para facilitar a interação, a interface é denominada **multimodal**. A possibilidade de usar uma interação natural e, principalmente, as próprias mãos para segurar instrumentos físicos reais ao mesmo tempo em que se pode interagir com informações e modelos virtuais, é um dos maiores benefícios da RA.

Para que as referências ao mundo físico possam ser apresentadas de forma coerente para o usuário, é necessário que o sistema de RA consiga identificar não somente onde devem ser colocados os elementos virtuais mas também como eles devem ser apresentados para o usuário, de acordo com seu ponto de vista, a qualquer tempo. Esse processo é chamado de **rastreamento** e se utiliza de várias técnicas (detalhadas no capítulo 2.3.2) que são consideradas o coração de um sistema de RA

Além dos elementos reais, que são naturalmente interativos (pode-se tocá-los, movê-los, etc.), os elementos virtuais também podem ser interativos, com recursos que extrapolam as limitações físicas e, também, usando a própria mão do usuário (com ou sem algum aparato tecnológico associado). Neste sentido, se poderia facilmente trocar de cor, selecionar vários elementos simultaneamente, movê-los, levantá-los etc. Para isso ser possível, é preciso que o sistema de RA possa identificar as interações executadas pelo usuário e isso pode ser alcançado, por exemplo, pelo uso de rastreamento ótico, câmeras de profundidade, dentre outras possibilidades (que serão detalhadas em 2.4).

Para que tudo isso funcione da maneira mais transparente e intuitiva para o usuário, é preciso que se utilize um dispositivo de visualização apropriado que reconheça as movimentações entre o ponto de vista do observador em relação ao restante do ambiente, por exemplo. Vários dispositivos podem ser utilizados, dependendo do tipo de exploração do ambiente aumentado. Por exemplo, em situações típicas de turismo,

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

usamos o **celular** para fotografar e para nos localizar - nada mais imediato que usar também o celular em ambientes externos como forma de visualização do ambiente aumentado. Pode-se ainda usar um **capacete** (em inglês seria o **HMD** - *Head Mounted Display*) de visualização com uma câmera acoplada, mostrando a visão real enriquecida com os elementos virtuais posicionados adequadamente pelo computador (*video see-through*).

O sistema é implementado de tal maneira que o cenário real e os objetos virtuais permanecem ajustados (técnica, associada ao rastreamento, chamada de "registro"), mesmo com a movimentação do usuário no ambiente real. Entretanto, quando estamos manipulando objetos, fazendo a manutenção ou montagem de uma peça manualmente, é preciso um sistema de visualização que deixe as mãos livres e que seja leve de usar - para tal existem óculos de RA que sobrepõem imagens às que são visualizadas diretamente pelo usuário (*optical see-through*). Mas, estas são apenas algumas das possibilidades de sistemas de visualização para RA (*hardware* e *software* para RA serão detalhados mais adiante neste capítulo).

2.1.1 Definições e Caracterização

A RA já foi definida de várias maneiras:

a) é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real (Augment 2017);

b) é uma melhoria do mundo real com textos, imagens e objetos virtuais, gerados por computador (Insley, 2003 apud Kirner; Tori, 2006);

c) é a mistura de mundos reais e virtuais em algum ponto do espectro que conecta ambientes completamente reais a ambientes completamente virtuais (Milgram, 1994);

d) é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e apresentando as seguintes propriedades (Azuma et al., 2001):
- combina objetos reais e virtuais no ambiente real;
- executa interativamente em tempo real;
- alinha objetos reais e virtuais entre si;
- aplica-se a todos os sentidos, incluindo audição, tato e força e cheiro.

A última acima, é a que apresenta o maior detalhamento, se remetendo aos componentes do sistema bem como às suas funcionalidades e portanto, é a definição que norteará a discussão neste livro.

Comparando RA e RV, já foi dito (Billinghurst et al., 2015, pag. 79) que o principal objetivo da RV é usar a tecnologia para substituir a realidade ao passo que o principal objetivo da RA é melhorar a realidade .

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Desta forma, um ambiente em RA pode ser representado por uma mesa real e um vaso virtual, como mostrado na Figura 2.3. A imaginação é o limite para fazer as representações.

Figura 2.3. Realidade Aumentada com vaso e carro virtuais sobre a mesa.

2.1.2 Arquitetura Típica de um Sistema de RA

Um sistema gráfico é composto tipicamente por módulos de entrada, processamento e saída de informações que, podem se dividir em várias tarefas, como mostra o esquema abaixo.

MÓDULO DE ENTRADA

Captura de vídeo: responsável por capturar a cena real onde serão inseridos os objetos virtuais;

Sensoriamento: quaisquer dispositivos que sejam usados para identificar objetos, observador e/ou o posicionamento e ações destes;

MÓDULO DE PROCESSAMENTO

Monitoramento dos objetos: responsável por identificar de forma única e precisa uma indicação a um objeto virtual em uma configuração (posição e orientação) específica (o que se chama de registro - *registering*) e também, por identificar como este objeto virtual se desloca no ambiente (o que se chama de rastreamento - *tracking*);

Gerenciamento da interação: responsável por identificar e determinar a resposta às ações de seleção ou manipulação dos objetos virtuais;

Processamento da aplicação: responsável por dar sentido às interações e promover mudanças na cena, conforme os objetivos da aplicação (jogo, ambiente industrial, aplicação de turismo, etc.), e;

MÓDULO DE SAÍDA

Visualização: responsável por renderizar visualmente o objeto virtual na

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

condição especial requerida pela aplicação e então mostrar ao usuário por um dispositivo de visualização apropriado;
Atuação: responsável por renderizar parâmetros para dispositivos hápticos.

Os módulos de entrada e saída são fortemente dependentes do hardware utilizados. O módulo de processamento têm suas características dependentes das técnicas de software utilizadas. Ambos os elementos, software e hardware, serão detalhados adiante.

Um ciclo de processamento pode ser resumido em: captura de vídeo e execução do rastreamento de objetos; processamento do sistema de RA, incluindo leitura de dispositivos e simulação/animação; calibração, misturando o real com o virtual; e renderização sensorial, envolvendo os aspectos visuais, auditivos e hápticos. Como o sistema funciona em tempo real e deve apresentar tempo de latência igual ou menor que 100 ms, o processamento envolvido é muito maior que aquele considerado durante a discussão do processamento de sistemas de RV. Agora, o processamento do sistema de RA é uma das partes de um conjunto maior e mais complexo, envolvendo também técnicas de multimídia.

2.1.3 Comparação de RA com RV

A RA e a RV pode ter suas diferenças estudadas quando vistas num diagrama que considera a dimensão da artificialidade e a dimensão do espaço [Benford, 1998], conforme a Figura 2.4.
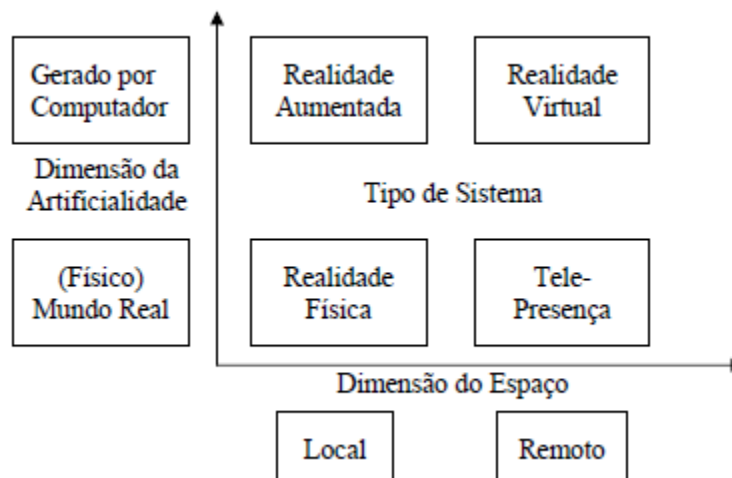
Figura 2.4 Diagrama das artificialidades e espaços

Ambos os casos tratam de objetos gerados por computador, mas, no mundo físico, a RA está ligada com a realidade física, enquanto a RV refere-se ao sentido de telepresença. Assim, pode-se comparar RA com RV (Bimber; Raskar, 2005), levando-se em conta que:

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

- a RA enriquece a cena do mundo real com objetos virtuais, enquanto a RV é totalmente gerada por computador;

- no ambiente de RA , o usuário mantém o sentido de presença no mundo real, enquanto que, na RV, a sensação visual é controlada pelo sistema;

- a RA precisa de um mecanismo para combinar o real e o virtual, enquanto que a RV precisa de um mecanismo para integrar o usuário ao mundo virtual.

2.1.4 Tipos de RA

Dependendo de decisões de projeto ou dispositivos, podemos classificar as abordagens em RA sob vários critérios para cada uma das tarefas do sistema típico.

No contexto da tarefa de entrada de dados, a RA pode ser classificada pelo critério da forma de rastreamento (Wang et al., 2016): Quando se usam recursos de processamento da imagem capturada para fazer o rastreamento dos objetos virtuais, tem-se a RA baseada em **visão**; Quando estes objetos virtuais estão associados a algum tipo de sensor, tem-se a RA baseada em **sensores**.

- A RA baseada em **visão** é robusta, precisa, flexível, fácil de usar e, por conseguinte, mais amplamente usada mas, tem problemas com a iluminação do ambiente e oclusão de informações. Dentro desta classe de aplicações encontra-se o recurso mais utilizado, e pelo qual muitos associam a própria RA, que são os marcadores;

- A RA baseada em **sensores**, é mais precisa, de menor latência (atraso para processar e exibir), menor jitter e robusta para uma série de limitações dos ambientes (sujeira, baixa/variação brusca de iluminação, cenas com objetos muito assemelhados ao resto do ambiente, etc.)

Os **marcadores** mais comuns (os fiduciais) são cartões com uma moldura retangular e com um símbolo em seu interior, funcionando como um código de barras 2D, que permite o uso de técnicas de visão computacional para calcular a posição da câmera real e sua orientação em relação aos marcadores, de forma a fazer com que o sistema possa sobrepor objetos virtuais sobre os marcadores. Estes marcadores podem conter os símbolos mais variados possíveis, como mostra a Figura 2.5.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

a. (b)

Figura 2.5 : Exemplos de marcadores do (a) ARTookit (ARToolKit 2017), (b) QRPO (Alcantara, Silva, Hounsell, 2015)

Os marcadores fiduciais são imagens que representam uma assinatura conhecida (seu conteúdo, formato, tamanho e cores). Um marcador pode ser impresso em papel - bem comum -, cartão, cartolina, ou qualquer outro objeto físico. O marcador apesar de ser o recurso mais usual para se obter RA, não é o único, como veremos adiante.

O uso de combinações de marcadores com sensores e/ou vários tipos de sensores simultaneamente pode ser feita mas, cada tecnologia empregada tem suas vantagens e desvantagens.

Ao longo da história da RA houve momentos em que se podia apenas aumentar a cena com informações e dados textuais. Logo se viu que este enriquecimento da cena poderia ser melhor aproveitado se gráficos ou esquemas pudessem ser inseridos na cena, de forma coerente com objetos reais. Posteriormente, com a melhora na capacidade de processamento, foi possível promover esse enriquecimento da cena com objetos gráficos 3D renderizados de forma realista. Mas, os elementos virtuais anteriores não deixaram de ser opções de RA, portanto, pode-se classificar a RA quanto ao elemento virtual que está enriquecendo a cena como:

- 1D, acrescenta elementos textuais em forma de HUD (*Head Up Displays*);
- 2D, acrescenta gráficos ou esquemas na cena;
- 3D, acrescenta objetos virtuais tridimensionais realistas à cena.

Importante ressaltar que, independentemente de o conteúdo ser 1D, 2D ou 3D, o registro desse conteúdo com o cenário real deve sempre ser tridimensional, ou seja, deve corresponder a uma posição no espaço real bem definida.

Outro aspecto para classificar a RA está relacionado com a visualização:

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

- Quanto à Direção de Visualização
    - Visada Direta (manipulação e observação na mesma visada, usuário determina a direção de observação)
        - Ótica (elemento virtual projetado sobre a observação do real)
        - por Video (elemento virtual inserido na reprodução do real)
    - Visada Indireta (manipulação e observação em visadas diferentes, usuário não determina a direção de observação)
        - Projetor (imagem aumentada é apresentada em um plano)
        - Monitor (imagem aumentada é apresentada em um monitor)

- Quanto ao Controle da Visualização
    - Acoplado à cabeça
    - Acoplado à mão (*Handheld*)
    - Desacoplado (Ponto fixado no ambiente)

No contexto da tarefa de saída, a RA pode ser classificada pelo critério da forma com que o usuário vê o mundo. Quando o usuário vê o mundo apontando os olhos diretamente para as posições reais com cena óptica ou por vídeo, a RA é de **visada direta** (imersiva). Na visada direta, as imagens do mundo real podem ser vistas a olho nu, trazidas através de vídeo que misture imagens captadas do mundo real com outras sintetizadas computacionalmente (visão direta por video - *video see-through*), por meio de objetos virtuais projetados diretamente nos olhos (visão óptica direta - *optical see-through*), visualizadores de apontamento direto baseados em "*handheld*"(portados em mãos, como celulares e tablets) ou projetados diretamente no cenário real (RA espacial) (Bimber;Raskar, 2005). Quando o usuário vê o mundo em algum dispositivo, como monitor ou projetor, não alinhado com as posições reais, a RA é dita de **visada indireta** (não imersiva).

A Figura 2.6 mostra na parte (a) a estrutura da visada direta e na parte (b) a visada indireta.

a) Visada Direta – Capacete Óptico b) Visada Indireta - Monitor

Figura 2.6. Tipos de Realidade Aumentada baseados na visão

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Pode-se encontrar na literatura uma forma diferente de classificação relacionada ao dispositivo, que é mais tecnológica que a anterior mas que contempla as mesmas classes em um único critério (Milgram, 1994) (Isdale, ,2000): visão óptica direta, visão direta baseada em vídeo; visão baseada em monitor, e visão baseada em projetor.

Ainda, pode-se classificar a RA quanto a perspectiva de visualização que se relaciona com onde a câmera pode ser colocada: na cabeça da pessoa, gerando uma visão em **primeira** pessoa; atrás da pessoa, gerando uma visão em **terceira** pessoa; ou na frente da pessoa, direcionada para ela, gerando uma visão de **segunda** pessoa (Sherman; Craig, 2002).

2.2 Breve Histórico

Aumentar a realidade com algum recurso já vem sendo tentado há tempos: O uso de espelhos, lentes e iluminação devidamente posicionados para refletir imagens de objetos e pessoas ausentes são truques usados desde o século XVII. Entretanto, a RA que consideramos aqui usa objetos gerados por computador e não filmes ou fotografias de objetos.

É atribuído a Ivan Sutherland junto com Bob Sproull, a criação em 1968 em Harvard do primeiro protótipo de dispositivo que permitia juntar imagens 3D geradas em computador sobre imagens reais. O sistema já combinava o monitor (*display)*, monitoramento e geração de imagens por computador que caracterizam uma aplicação de RA até hoje.

Posteriormente, Tom Furness iniciou a pesquisa do Super-Cockpit para a Força Aérea dos USA cujo objetivo era investigar novas formas de apresentar para o piloto as inúmeras, detalhadas e variadas informações de voo sem sobrecarregá-lo. Essas pesquisas evoluíram até chegarem nos capacetes de RA que os pilotos do helicóptero Apache usam atualmente.

Furness mudou-se para a Universidade de Washington em 1989, transferindo para a academia uma parte das pesquisas em RA. Concomitantemente, várias Universidades iniciaram pesquisas envolvendo os conceitos de RA: Universidade do Norte da Carolina, Universidade de Columbia e Universidade de Toronto; capitaneadas por pesquisadores relevantes na área como Frederick Brooks, Steve Feiner e Paul Milgram.

Apesar de as pesquisas em RA já estarem em andamento, a dissociação da RV não era tão evidente. O primeiro artigo científico que usou o termo “Realidade Aumentada” no contexto tratado aqui, foi o de Tom Caudell e Tom Mizell (1992), artigo esse focado no setor industrial. É atribuído pois, a Tom Caudell a criação do termo RA (Ling, 2017). Daí em diante, tanto pesquisas voltadas para as tecnologias (visualização, monitoramento, interação) quanto aplicações começaram a aparecer e se consolidar.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Nesse mesmo ano surge o primeiro sistema funcional de RA, “Virtual Fixtures”, desenvolvido por Louis Rosenberg, (Interaction Design Foundation 2017).

Esses foram, portanto, os dois marcos tecnológicos significativos da criação da RA: o uso do conceito por volta de 1968 e sua efetiva aparição em 1992. Um pouco depois, a RA começou a tomar as ruas: em 1997, Feiner e colegas combinaram os “computadores vestíveis” (do inglês, *Wearable Computers* - outra nomenclatura associada com a RA) com rastreamento por GPS para produzir aplicações de RA na rua e mostrar informações nos seus respectivos lugares no mundo real (Feiner et al., 1997 apud Billinghurst et al., 2015: pag 90). Os celulares receberam suas primeiras câmeras em 1997 e as primeiras aplicações de RA em celulares foram apresentadas em torno de 2004. A junção da experimentação do uso do GPS e a RA em celular permitiu recentemente a criação de inúmeros jogos de grande sucesso, como o Ingress e o Pokemon Go (ambos da Niantic Games).

Do ponto de vista da academia, a primeira conferência focada na RA foi promovida em 1998 conjuntamente pela IEEE e ACM, as duas maiores sociedades das áreas da engenharia e computação, respectivamente. Simpósios subsequentes em RM e RA, em 1999 e 2000, amadureceram para que em 2002, o ISMAR - International Symposium on Mixed and Augmented Reality - viesse a se formar e que se mantém até hoje como o principal fórum de discussão de tecnologias associadas à RA.

Já do ponto de vista comercial, a primeira empresa focada em RA apareceu em 1998 na França com o nome de Total Immersion (2017) e existe até hoje. Um dos primeiros produtos comerciais amplamente difundido foi o jogo *The Eye of Judgment* (2017) lançado em 2007 pela Sony para o Playstation 3.

Em 2009 o interesse pela RA aumentou significativamente graças a (i) disponibilização de ferramentas para gerar aplicações de RA com o, antes bem conhecido, Flash (2017), justamente pelo suporte a câmeras que esta ferramenta de desenvolvimento recebeu; (ii) a viabilização da RA em celulares, graças aos novos modelos que continham processadores rápidos o suficiente para os algoritmos de base da RA e; (iii) o uso da RA em grandes campanhas publicitárias onde revistas passaram a inserir marcadores de RA nas suas páginas - popularizando a tecnologia. Mas, foi com o anúncio do produto Google Glass, em 2013, que a RA finalmente capturou a atenção do público em geral (Ling, 2017)

Com base nestas datas, percebe-se que a RA é uma área de pesquisas e estudos ainda nova mas, sempre associada a tecnologia e suas aplicações para melhorar a forma como o homem vê o mundo.

2.3 Tecnologias

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

A maioria dos dispositivos de RV pode ser usada em ambientes de RA ou RM, exigindo adaptações em alguns casos. As principais diferenças –estão nos visualizadores e rastreadores.

2.3.1 Hardware de Entrada

Já identificamos que um dos componentes fundamentais da RA é uma câmera de vídeo para capturar a cena e, às vezes, identificar nesta os locais de posicionamento dos elementos virtuais. Entretanto, além da entrada de vídeo, vários outros dispositivos podem ser usados com o objetivo de auxiliar na identificação dos elementos da cena e/ou posicionar os elementos em relação ao observador. Estes últimos também são fundamentais para auxiliar no processo de interação. O hardware de RA pode usar dispositivos típicos da RV, mas tem a preocupação de não obstruir as mãos, que devem atuar naturalmente no ambiente misturado. Técnicas de rastreamento visual, usando visão computacional e processamento de imagens são importantes, neste caso. Assim, os seguintes dispositivos podem ser usados como *hardware* de entrada para um sistema de RA:

- **GPS** (*Global Positioning System*). Pode-se registrar a posição de um elemento virtual num espaço físico mais amplo - através de suas coordenadas geográficas (latitude e longitude). Desta feita, o sistema de processamento de RA vai posicionar os elementos virtuais numa posição geográfica específica mas, para isso, precisa saber onde o observador está também - daí a utilidade do GPS);

- **Sensores Inerciais** (Acelerômetros, Magnetômetros e Giroscópios). Para auxiliar na identificação da forma como a cena é observada, pode-se utilizar estes sensores para controlar o ângulo de visão. Ainda, pode auxiliar a identificar ações do usuário para usar como forma de interação;

- **Sensores de Profundidade**. Acoplados ao sistema de captura de imagens (como em câmeras RGBD do tipo Kinect, Xtion, RealSense) ou isolados (como o Leap Motion), os sensores de profundidade são úteis para identificar a configuração do cenário físico ou para identificar a presença e configuração da mão do usuário. A calibração desta identificação ao sistema de visualização permite identificar formas de interação do usuário com os elementos virtuais;

- **Luvas de Dados**. Dispositivo típico de RV que captura a configuração da mão do usuário, as luvas de dados podem ser usadas isoladamente, para servir como forma de interação baseada em gestos (configuração dos dedos) ou, quando acoplada a rastreadores (outro dispositivo típico de RV), permitem o posicionamento da mão do usuário na cena e a interação com os elementos virtuais;

- **Interfaces Tangíveis**. Todo e qualquer dispositivo físico significante para a aplicação (no caso uma ferramenta, um instrumento, etc.) que o usuário possa

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

interagir diretamente (segurar, tocar, empurrar) mas que ao mesmo tempo possa servir como sensor de entrada para o sistema (identificando qual foi a ação) é uma interface tangível e que pode ser utilizada também em um sistema de RA. Nota-se que nas interfaces tangíveis, a interação não fica limitada a sutís movimentos de dedos e dos olhos mas, envolve o espaço físico e a corporalidade do usuário (Dos Reis; Dos Santos Gonçalves, 2016). Assim, mesas translúcidas (com sistemas de visão acoplados) ou objetos físicos com sensores acoplados podem ser integrados a um sistema de RA.

2.3.2 Software

Ao mesmo tempo em que a RA demanda recursos de hardware, ela também impõe desafios de software, na medida em que são desenvolvidas aplicações mais complexas e potentes.

A capacidade de processamento das unidades centrais (CPU) e das placas gráficas (GPU), para tratar as necessidades da RA, deve ser alta o suficiente para garantir a execução, em tempo interativo, das seguintes ações: tratamento de vídeo; processamento gráfico 3D; geração de imagens misturadas; incorporação de som; execução háptica; controle multimodal; varredura de dispositivos de entrada com ênfase no rastreamento; etc.

O software de RA é usado na fase de preparação do sistema, através de ferramentas de autoria de ambientes misturados, e na fase de execução, como um suporte à interação em tempo real.

Como ferramenta de autoria, o software de RA é usado para integrar objetos virtuais ao ambiente real, incluindo comportamentos. Ele pode usar elementos auxiliares para a captura de posições ou os próprios elementos do cenário real. O ajuste dos objetos virtuais no espaço real, feito na calibração, pode ser interativo e visual ou baseado em parâmetros de posição.

Algumas ferramentas de autoria permitem tanto a preparação quanto a interação com objetos virtuais. Outras ferramentas de autoria encapsulam ferramentas mais simples, gerando sistemas mais complexos, acumulando funcionalidades.

Dentre as ferramentas de autoria de RA, pode-se citar: ARToolKit (Billinghurst et al., 2001), ARToolKitPlus, MRT (Freeman; Zhou, 2005), Studierstube (Schmalstieg et al., 2002), Tiles (Poupyrev et al., 2001), APRIL (Ledermann; Schmalstieg, 2005), DART (MacIntyre et al., 2003), MARS (Guvem; Feiner, 2003), AMIRE (Zauner et al., 2003), MXRToolKit (Zhou; Cheok; Pan, 2007), LibTap (Seichter; Kvan. 2004), OSGART (Osgart, 2017), , irrAR (Irrlicht 3d, 2017), AndAR-Android ARToolkit (Inglobe Technologies, 2017), BasAR (Cerqueira; Kirner, 2011), FLARToolKit (Kirner, 2011), VUforia (Vuforia, 2017), ARTag (Fiala, 2005) e AURASMA (Aurasma, 2017) (este último dispensa programação, porém é mais limitado),

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Como suporte para interação em tempo real, o software de RA deve promover o rastreamento de objetos reais e ajustar os objetos virtuais no cenário, tanto para pontos de vista fixos quanto para pontos de vista em movimento. Além disso, o software de RA deve permitir a interação do usuário com os objetos virtuais e a interação entre objetos reais e virtuais em tempo real. O suporte para interação em tempo real também deve: atuar no controle da simulação/animação dos objetos virtuais colocados na cena; cuidar da visualização da cena misturada; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas.

O ARToolKit é um dos recursos mais populares da RA. O ARToolKit é uma biblioteca de software baseada nas linguagens Java, C e C++, usada para o desenvolvimento de aplicações de RA. Este ambiente de desenvolvimento baseia-se no uso de marcadores. ARToolKit é de código aberto e possibilita alteração e ajustes para aplicações específicas (Fig. 2.7) que, junto com o ARTag são os framework de desenvolvimento mais presentes nas publicações científicas no Brasil até recentemente (Hounsell et al., 2014).

a) Marcador Fiducial do tipo código de barras 2D; b) Objeto Virtual sobre o Marcador

Figura 2.7. Realidade Aumentada usando ARToolKit

A base para o funcionamento da RA é a capacidade do sistema computacional de identificar onde os elementos virtuais vão aparecer na cena. Para os elementos 1D e 2D esta funcionalidade impacta pouco no funcionamento da aplicação pois leva a um posicionamento em relação a tela (que pode ser fixo). Entretanto, quando o elemento é 3D, independente de sua qualidade gráfica, esta integração se torna fundamental pois o objeto virtual tem que ser coerente com o resto do mundo 3D real. Para alcançar esta funcionalidade no caso dos objetos 3D, o sistema de RA tem que executar as tarefas de monitoramento, que se divide em:

- **Registro**, que está relacionado com a capacidade do sistema de RA deve ter de identificar QUAL é o elemento virtual que deve aparecer e em QUAL posição e orientação relativa ao restante da cena (tanto a objetos reais quanto virtuais e em relação ao observador). Esta identificação deve ser biunívoca entre objeto

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

virtual e sua assinatura na imagem da cena e, seu posicionamento deve ser preciso e robusto para que se possa posicionar o objeto virtual em uma posição estável;

- **Rastreamento**, é a capacidade que o sistema de RA deve ter de identificar COMO um elemento virtual presente na cena está se movendo e para ONDE. Isto pode ser feito aplicando repetidamente os algoritmos de registro (mas é ineficiente), ou técnicas específicas e mais robustas.

Erros no processo de registro, podem fazer com que um objeto fique aparecendo e desaparecendo da cena (também chamado de *popping*) ou em posição incompatível com o resto da cena. Erros no processo de rastreamento pode fazer com que o objeto 3D acumule erros, tendo movimentação estranha ou acabe em um local inadequado.

Estes dois recursos usam técnicas de Visão Computacional e Reconhecimento de Padrões que são subdivisões da área do Processamento de Imagens que, por sua vez, é uma das áreas do Processamento Gráfico. Registro e Rastreamento serão detalhados na seção 2.5.

2.3.3 Hardware de Saída

Para visualizar a RA, os dispositivos precisam ter a capacidade de misturar o ambiente real com o virtual. Para isto, são usados quatro esquemas (Azuma, 2001):

a) baseados em **monitores**, constituindo monitores ou telas de projeção, mostrando a imagem capturada por uma câmera de vídeo (fixada num ponto do ambiente real) e misturada com objetos virtuais. O usuário pode entrar em cena e interagir com os elementos reais e virtuais, desde que consiga se ver no visualizador. Aplicações baseadas no ARToolKit, mostradas no monitor, funcionam desta maneira;

b) visada **óptica direta** (*optical see through*), consistindo de um dispositivo semi transparente, de forma a permitir a passagem da imagem real vista diretamente, mas também que reproduz imagens geradas pelo computador. Isto pode ser obtido por meio de um recurso da ótica (uso de prismas para juntar duas fontes de informação luminosa) projetando imagens diretamente na retina ou, por meio projeção em visor transparente em configuração de óculos ou viseira de capacete ou ainda, em lente de contato;

c) visão de **câmera de vídeo (***video see through***)**, ou visão com oclusão (o mundo real não é visto diretamente), que consiste de dispositivos de visualização com uma ou duas micro câmeras presas à frente do dispositivo e apontada para onde o usuário estaria olhando. A imagem capturada pela(s) câmera(s) de vídeo, misturada com a imagem dos elementos virtuais gerada pelo computador, é mostrada ao usuário através de um dispositivo de visualização que pode ser um capacete, a tela de um *tablet* ou até a tela de um *smartphone*;

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

d) **projeção**, também chamada de RA Espacial - *Spatial AUgmented Reality* (Bimber; Raskar, 2004), que consiste na projeção das informações virtuais diretamente sobre os objetos físicos, cujas características serão então, aumentadas. O usuário, neste caso, não necessita de vestir nem segurar nenhum dispositivo para visualização. Esse tipo de esquema é muito útil para incorporar detalhes a certos objetos ou mostrar suas partes internas, sem a necessidade de abrí-los ou desmontá-los.

2.4 Técnicas de Interação

Inicialmente, os sistemas de RA enfatizaram a visualização, sem se preocupar em como os usuários iriam interagir com os elementos virtuais. Mas, logo se percebeu a necessidade e importância de interagir com os elementos virtuais, aumentados na cena. As técnicas de interação em ambientes tridimensionais se dividem em seleção, manipulação, navegação e controle do sistema (Laviola et al., 2017). Portanto, deve-se observar nos sistemas de RA como essas técnicas estão disponibilizadas para uso. As técnicas de controle do sistema, por não estarem diretamente relacionadas à interação com conteúdos e ambientes tridimensionais, não serão aqui abordadas.

Como o usuário pode potencialmente interagir tanto complementos físicos quanto virtuais do ambiente, sem nem precisar diferenciar real de virtual, a forma de interação promovida pelo sistema de RA requer que o usuário também não perceba diferença durante a interação com estes elementos, fazendo com que a busca pela naturalidade das ações seja um forte requisito de interação para os sistemas de RA. Essa é, ao mesmo tempo, uma vantagem e uma dificuldade técnica a ser superada nos sistemas de RA.

2.4.1 Seleção

Para conseguir esta interação alguns sistemas limitaram-se a reproduzir, no ambiente de RA, as interfaces gráficas já conhecidas em sistemas 2D (GUI - *Graphical User Interface*), como menus de tela.

Para atender à interação mais natural, formas de uso com o próprio elemento virtual 3D passaram a ser buscadas. Para tal, algumas estratégias começaram a ser desenvolvidas. Uma delas, exemplificada na Figura 2.6, é o uso de um elemento virtual (como uma Lupa) para interagir com a GUI2D. Desta forma, funcionando como um apontador conduzido pela própria mão do usuário para efetuar a operação de seleção.

A presença de um cartão marcador em frente à câmera faz com que o objeto virtual associado seja colocado sobre ele. A manipulação do cartão com as mãos movimenta também o objeto virtual. Além do objeto virtual, sons podem ser iniciados, quando o cartão entra no campo de visão da câmera. Na Figura 2.6 pode-se ver a usuária segurando uma pazinha (nada mais do que um palito de picolé com um cartão de papel

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

colado) e olhando um objeto na parede dentro do jogo Sherlock Dengue (Corsani et al. 2009); passado pelo sistema de RA a visão da pazinha passa a se assemelhar a de uma lupa (artefato usado para associar o ambiente com o personagem Sherlock Holmes).
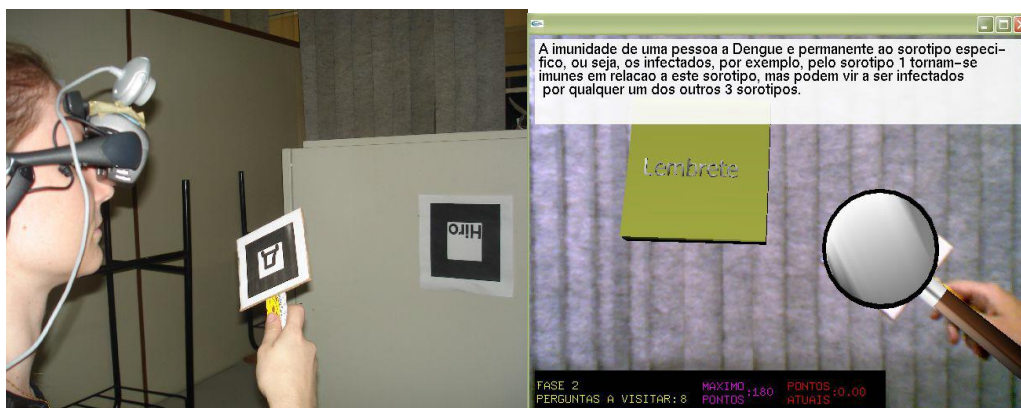
Figura 2.6: Uso de um elemento virtual para interação com outro [Corsani et al., 2009].

Esta ação (seleção) pode ser identificada pelo sistema pela sobreposição, pela própria presença de um elemento virtual, ou pela sua inclinação, por exemplo.

2.4.2 Manipulação

Alguns cartões de controle (quando se usa um sistema de RA baseado em marcadores) podem ser usados para interferir em elementos virtuais selecionados por outros cartões, fazendo alterações geométricas, troca de objetos, captura, duplicação, deleção, etc. Com isto, os objetos podem ser alterados ou reposicionados, gerando inúmeras aplicações.

Outra possibilidade de manipulação é considerar o elemento virtual sendo manipulado pelo usuário, interagindo com os elementos virtuais da cena - promovendo colisões, deslocamentos, etc. Entretanto, esta técnica infelizmente não pode ser reproduzida para os objetos físicos.

Outra forma de interação no ambiente aumentado são as Interfaces Tangíveis (Azuma, 2001) que permitem interações diretas com o mundo físico, através das mãos ou de objetos e ferramentas reais. Uma das maneiras mais simples e populares de implementação de interfaces tangíveis é conseguida no ambiente ARToolKit, usando "video *see-through*".

O sistema Tiles explora esse tipo de interação (Poupyrev, 2001). Outra aplicação interessante é o Magic Book (Billinghurst et al., 2001), que implementa a interface que transita entre os mundos AV-VR. O projeto, usando um livro físico, mostrando objetos e cenários virtuais em suas folhas, permite que o usuário use o livro fora do ambiente computacional; depois, ele pode entrar no ambiente de realidade aumentada,

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

colocando o livro no campo de visão de uma webcam; e, finalmente, ele pode mergulhar no mundo virtual do livro, escondendo o vídeo do mundo real.

2.4.3 Navegação

Navegação é a técnica responsável por controlar como o observador explora o ambiente aumentado. Tanto sua forma de visualização quanto seu deslocamento neste ambiente. Muitas das aplicações de RA não exigem muito deslocamento do usuário (aliás, muitas delas desprezam esta questão). Portanto, pode haver certa confusão quando se fala de navegação e formas visualização em ambientes de RA.

Controlar a direção de visualização em um ambiente de RA pode parecer uma tarefa simples quando se considera um dispositivo do tipo visor (*HMD*). Neste caso, o rastreamento do dispositivo de visualização traz informações suficientes para informar para onde e como a cena está sendo visualizada. Entretanto, visualizadores alternativos, como "*handheld*", fazem com que não a cabeça mas, as mãos do usuário controle a visualização (e navegação) pela cena aumentada.

Em todos os casos, pode-se ainda dispor de dispositivos de controle especiais, explorando interações multimodais, como elementos de interação em sistemas de RA, permitindo a técnica de interação mundo em miniatura – "World In Miniature" (WIM) (Bell; Hollerer; Feiner, 2002).

2.4.4 Outras formas de interação

Algumas estratégias de interação do ambiente de RA podem ser usadas tanto para seleção quanto para manipulação: podem-se usar câmeras de vídeo (RGB) ou, ainda, uma câmera de profundidade (também chamada de câmera **RGBD,** de qual o MS Kinect é um exemplo) capazes de identificar os gestos bem como a posição relativa do usuário em relação à cena. Complementarmente a isso, Interfaces **Multimodais** são alternativas promissoras pois podem liberar a mão do usuário da tarefa de interação, transferindo alguns dos controles para a fala ou outras partes do corpo.

Outra alternativa, para o desenvolvimento de interfaces de RA, consiste no uso de **agentes** virtuais, cujas ações são ordenadas pelo usuário, através de gestos e comandos de voz. Um agente pode mover objetos virtuais para que o usuário possa inspecioná-lo, por exemplo. Pode-se, portanto, nos ambientes de RA, realizar navegação, seleção, manipulação e controle do sistema.

2.5 Fundamentos da RA: Rastreamento (*Tracking*)

Como apresentado na seção 2.3.2, a RA usa dois processos importantíssimos: o Registro e o Rastreamento, aqui chamados simplesmente (e na literatura científica em geral) de rastreamento (do inglês, *Tracking*).

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

O rastreamento é tão fundamental que os tipos de RA podem ser classificados quanto a este aspecto (como visto na seção 2.1.4): RA baseada em Visão e; RA baseada em Sensores. A seguir detalhamos alguns aspectos das tecnologias mais recentes de **rastreamento** (Billinghurst et al., 2015).

- Baseado em Visão
  - Com sensores Infra Vermelho
  - Com identificadores visíveis
    - Com marcadores fiduciais
      - Quadrado Plano
      - Círculos concêntricos
      - Formas geométricas específicas
    - Com marcadores naturais
    - Com rastreadores do modelo dos objetos (linhas, círculos,etc)
  - Com rastreamento da estrutura 3D da cena
- Demais sensores
  - Magnético
  - GPS
  - Sensores Inerciais
- Híbrido

O rastreamento baseado em **Visão**, vem se tornando muito popular em RA devido a não exigir *hardware* adicional (além da câmera que já possivelmente esteja sendo usada) e da capacidade de processamento nos dispositivos móveis suficiente para analisar imagens.

Os primeiros sistemas de rastreamento baseado em visão utilizavam emissores ou refletores de luz (tipo “olho de gato”) anexados aos objetos sendo rastreado. Isto tornava o rastreamento bem mais fácil pela facilidade de controlar (e identificar) o emissor/refletor. Os refletores se mostraram mais fácil de trabalhar pois resolviam o problema de energia e sincronização para as fontes de luz. Se a fonte de luz era **infravermelho**, ela não era visível e portanto, não influenciava o resto da cena. Apesar da precisão e robustez dessa solução, ela requer uma fonte de luz específica.

Trabalhar com **luz visível** para rastreamento baseado em visão facilita o processo pois não requer nem a fonte de luz nem o sensor específicos, tornando a preparação do ambiente bem mais fácil e é feita procurando marcações (naturais ou artificiais) existentes na cena. Quando as marcações são artificiais e, portanto, adicionadas à cena, estas são chamadas de **fiduciais**. Marcadores fiduciais são criados de forma a serem facilmente identificados pelo *software* de visão. Eles podem ser desde formas geométricas específicas em cores, anéis circulares concêntricos e coloridos até, uma simples marca quadrangular. Esta última, acrescida de informações adicionais no seu interior é a forma mais popular de executar rastreamento em RA. Isto se deve ao fato

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

de que este tipo de marcador fiducial tenha sido incorporado aos famosos ARToolKit (ARToolKit 2017) e ARTag (Fiala, 2005).

Marcadores fiduciais do tipo código de barras 2D entretanto, são inconvenientes (devem ser afixados na cena real) e inapropriados (não são naturais à cena) o que levou à busca de marcadores mais naturais (Ling, 2017): a medida que o poder computacional dos dispositivos de visão aumentou, ficou mais fácil utilizar algoritmos de visão computacional que buscam características **naturais** aos objetos, ou seja, já presentes neles (como sua própria imagem, substituindo portanto as imagens binárias dos marcadores usados até então). Vários algoritmos de reconhecimento de padrões são capazes de identificar imagens (previamente cadastradas e treinadas) em tempo real. Algoritmos como SIFT - *Scale Invariant Feature Transform*, SURF - *Speeded Up Robust Features*, BRIEF - Binary *Robust Independent Element Feature*, BRISK - *Binary Robust Invariant Scalable Keypoints*, dentre outros, têm sido utilizados.

- Quando é possível saber de antemão qual é a estrutura geométrica do objeto, essa informação pode ser usada para efetuar o seu rastreamento. Assim, usam-se modelos de CAD para representar o objeto e faz-se então o rastreamento baseado neste **modelo** do objeto. Isto pode ser feito pois a maioria dos objetos a serem rastreados podem ser descritos como combinações de entidades geométricas simples (como linhas e círculos) que, por sua vez, são mais fáceis de rastrear do que imagens complexas dos objetos. Técnicas como SLAM - *Simultaneous Localization and Map Building*, PTAM - *Parallel Tracking and Mapping e,* mais recentemente ORB-SLAM (Mur-Artal et al., 2015) são utilizadas nesta abordagem.

As abordagens acima tentam identificar um objeto especial no meio da cena. Outra forma de promover a RA é identificar como é o ambiente 3D (sobre o qual um elemento virtual vai aparecer). O objeto virtual pode então estar associado (indiretamente) à existência e configuração do próprio ambiente. Assim, se for possível identificar e rastrear planos ou obstáculos na cena, ou seja, a **estrutura 3D da cena**, esta informação pode ser suficiente para que o elemento virtual se encaixe adequadamente. Executar este tipo de rastreamento passou a ser bem mais fácil com o advento das câmeras RGBD ou, câmeras de profundidade, apesar de que esta identificação também pode ser feita por *software*.

A RA pode ainda utilizar **outros sensores**, que não os óticos, para executar o rastreamento. No rastreamento **magnético**, tem-se um dispositivo transmite um campo magnético alternado que é captado por um ou mais receptores. Daí então é calculada a posição e orientação do receptor em relação ao transmissor. O rastreamento magnético é rápido, não requer visada direta entre os dispositivos, são leves e pequenos. Entretanto, o volume de trabalho (área onde a precisão se mantém aceitável) é limitado e o sistema é sensível a interferências eletromagnéticas - que podem ser muito comuns em alguns ambientes industriais.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Rastreamento por **GPS** é apropriado para espaços abertos e amplos. Um projeto adequado de uma aplicação de RA pode permitir que a precisão de 3 metros atualmente disponível seja suficiente. A vantagem desse rastreamento é que ele tende a melhorar num futuro próximo.

Sensores **inerciais** (já comentados na seção 2.3.1) têm a vantagem de não terem volume de trabalho limitado, não requerem linha de visada entre transmissor e receptor, não sofrem interferências eletromagnéticas, acústicas nem óticas. Podem ser amostrados a altas frequências com quase nenhum atraso. Mas, estes sensores são muito sensíveis ao acúmulo e propagação de erros, tanto de posição quanto orientação, ao longo do tempo - requerendo calibração periódica. Por esta razão, quando a precisão do rastreamento é necessária, sensores inerciais devem ser combinados com outros sensores para correção.

Aliás, a composição **híbrida** de modos de rastreamento pode levar um sistema a ser mais versátil, robusto e preciso mas, fazer a fusão das informações precisa de um gerenciamento especial para se tornar coerente.

2.6 Aplicações

A RA permite ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e virtuais estáticos e em movimento. Com isto, o usuário pode visitar salas de aula e laboratórios virtuais, interagindo com professores e colegas e realizando experimentos científicos; pode entrar no banco virtual e manusear o terminal de atendimento virtual, da mesma maneira que o faz com o equipamento real, e mesmo conversar com o gerente, representado no ambiente por um humanóide virtual (avatar).

2.6.1 Vantagens e Aplicabilidade da RA

Algumas das vantagens e aplicabilidade da RA se confundem com as da RV mas, pode-se destacar algumas que são próprias da RA. Dentre as vantagens da RA destacam-se (Wang et al., 2016)

- Não é necessário fazer toda a **modelagem do mundo virtual** (o que normalmente demanda esforço manual, aumentando a dificuldade de integração com os sistemas de CAD e, também esforço computacional para a renderização);

- O usuário pode **agir no real** (usar ferramentas, atuar sobre dispositivos, manipular objetos, se mover em torno do objeto) de forma natural com suas propriedades responsivas - hápticas (de peso/inércia, textura, rigidez), o que dá maior senso de realismo e imersão no mundo enriquecido, trazendo o benefício tanto do real - principalmente a intuitividade - quanto do virtual

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

- Pode-se **explorar** novos elementos (virtuais) e sua interação com o ambiente (real) sem a necessidade de construir ou desenvolver os elementos, economizando tempo e recursos, e;

- Proporciona um ambiente **seguro**, flexível, controlado e intuitivo para experimentar interações físicas.

Neste contexto, pode-se dizer que uma aplicação que precisa do realismo físico ou gráfico do ambiente real como interface para explorar possibilidades virtuais, é um bom candidato para uma aplicação de Realidade Aumentada.

2.6.2 Áreas de Aplicação da RA

Da mesma maneira que a RV, a RA pode ser aplicada às mais diversas áreas do conhecimento, em muitos casos com vantagens adicionais por se integrar simbioticamente com os ambientes reais. Qualquer atividade humana que necessita de acesso a informação para melhor ser executada, pode se beneficiar da RA. Se esta informação for 3D e diretamente relacionada com o ambiente em que se está, então a RA tem o potencial de ser a melhor alternativa de solução.

Essas aplicações consistem em: reparo mecânico, modelagem e projeto de interiores, cirurgia apoiada por computador, manufatura e diagnóstico de placas de circuito impresso, montagem de equipamentos, experimentação de adornos, manutenção de instalações industriais, visualização de instalações embutidas, visualização de temperaturas em máquinas e tubos, ferramentas para educação e treinamento, exposições e museus virtuais, visualização de dados.

2.6.3 Desvantagens e Limitações

As principais desvantagens das RA estão associadas com a forma com que se promove a **integração** entre os dispositivos com o processamento e a tarefa em questão. Ou seja, não existem soluções prontas de como abordar uma determinada área. Muita pesquisa ainda precisa ser feita para analisar as formas mais intuitivas e naturais desta integração.

Isso tem refletido em sistemas com certas limitações: como o foco ainda tem se voltado para a interface com o sistema de RA, a oportunidade de explorar sistemas mais inteligentes ou ainda, de explorar os próprios objetos reais da cena como recurso da aplicação tem sido esquecido(Wang et al., 2016). Explorar estes objetos reais tem a vantagem de ser háptico, natural e intuitivo.

As técnicas e soluções de **rastreamento** ainda estão na sua infância (Ling, 2017) e portanto, limitam as soluções possíveis. Isto traz aos desenvolvedores a responsabilidade de saber explorar os recursos atualmente disponíveis de

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

rastreamento mesmo que, para algumas aplicações, os requisitos de rastreamento não sejam tão exigentes, como é o caso das aplicações de “fusão real-virtual fraca” (Ling, 2017).

2.7 Outras Realidades

Agora que você leitor já tem conhecimento sobre a RV e RA, podemos aprofundar nas outras formas de misturar o real com o virtual, o que leva aos conceitos de Realidade Misturada, Virtualidade Aumentada, dentre outros, apresentados inicialmente no Capítulo 1 (ver Figura 1.1).

2.7.1 Realidade Misturada (RM)

O termo RA está muito difundido, sendo muitas vezes usado no lugar de Realidade Misturada (RM). A RA está inserida num contexto mais amplo, denominado RM. No entanto, esses termos geralmente são usados de maneira indiscriminada, predominando o uso da RA. A seguir, a RM e suas particularizações serão caracterizadas. Nesta seção, discutimos estes e outros termos relacionados e a diferenciação entre eles.

A Realidade Misturada (RM), ou do inglês Mixed Reality (**MR**), pode ser definida como a integração de elementos virtuais gerados por computador com o ambiente físico, e mostrado ao usuário com o apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real.

Assim, ao misturar cenas reais com virtuais, a RM vai além da capacidade da RV concretizar o imaginário ou reproduzir o real. A RM se encontra no meio entre a realidade completamente virtual e a realidade física como a conhecemos (como foi discutido na seção 1.1.1). A RM incorpora elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual, complementando os ambientes. A meta de um sistema de RM é criar um ambiente tão realista que faça com que o usuário não perceba a diferença entre os elementos virtuais e os reais participantes da cena, tratando-os como uma coisa só. Tem-se, portanto, um contexto mais amplo, definido como RM, que combina o mundo real ou mundo físico com o mundo completamente virtual, a RV, usando técnicas computacionais, conforme a Figura 1.1, adaptada de (Milgram, 1994). Assim, tudo que está entre o Mundo Real e a RV, pode ser chamado de RM.

No ambiente da RM, a RA ocorre quando objetos virtuais são colocados no mundo real. A interface do usuário é aquela, que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço. A Virtualidade Aumentada (**VA**), ou do inglês Augmented Virtuality (**AV**), ocorre quando elementos reais são inseridos no mundo virtual. A interface do usuário é aquela que transporta o usuário para o ambiente virtual, mesmo que ele veja ou manipule elementos reais ali inseridos.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

A RA e a VA são casos particulares da realidade misturada, mas geralmente o termo RA tem sido usado de uma maneira mais ampla.

2.7.2 Virtualidade Aumentada (VA)

A Virtualidade Aumentada pode ser definida como uma particularização da RM, quando o ambiente principal é virtual ou, há predominância do virtual porém, este é enriquecido com elementos reais pré-capturados ou capturados em tempo real. Estes objetos reais podem ser estáticos ou dinâmicos, como mãos e pessoas ou a própria pessoa. Nesse caso, os objetos são capturados por câmeras de vídeo, reconstruídos em tempo real, mantendo a animação, e levados ao mundo virtual, onde podem interagir.

Trabalhos como 3D Live (Prince, 2002), Mãos Colaborativas (Kirner, 2004) e Teleconferência com Virtualidade Aumentada (Siscoutto; Tori, 2004) permitem a inserção de avatares (pessoas ou mãos) dentro do ambiente virtual para visitarem e interagirem com o ambiente. A eliminação das imagens reais vindas da câmera de vídeo, através do controle de parâmetros no ARToolKit (Providelo, 2004), permite mostrar somente os elementos virtuais e mão virtual "reconstruída", fazendo com que o ambiente funcione como virtualidade aumentada.

A VA tem um potencial de uso bastante grande, na medida em que permite a inserção de avatares humanóides realistas no mundo virtual. Isto melhora as condições de infra-estrutura computacional para as pessoas se encontrarem para: trocar idéias, trabalhar em conjunto, fazer compras, estudar e interagir de muitas outras formas.

2.7.3 Realidade Diminuída (RD)

A Realidade Diminuída (RD), ou do inglês Diminished Reality (**DR**), é uma forma de alterar a realidade, semelhante à RA, mas, com o objetivo de eliminar objetos ou detalhes da cena real que está sendo vista por algum dispositivo. Desta forma, no lugar dos objetos ou detalhes aparecem somente o fundo onde ele estava antes. E tudo isso tem que ocorrer em tempo real, com movimento, de forma que não se perceba o objeto subtraído. Assim, diminuem-se objetos da cena, dando nome à técnica e, pode-se pensar na RD como sendo “o inverso” da RA.

Atualmente a RD ainda deixa rastros na imagem mas, o usuário não consegue identificar o objeto que foi subtraído. Ainda, o objeto ou detalhe a ser subtraído atualmente precisa ser identificado manualmente pelo usuário. Entretanto, com o avanço da tecnologia, alguns objetos podem ser inicialmente identificados para serem subtraídos automaticamente.

A RD é uma adaptação dos recursos que se usam na pós-produção de filmes para o contexto da RM. Ou seja, aquilo que antes era feito pela indústria do cinema para alterar as cenas tirando objetos auxiliares (como cabos de suspensão dos atores ou

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

outros objetos físicos usados durante as filmagens) mas que levava muito tempo de processamento agora pode ser experimentado interativamente, em tempo real.

A RD pode ser útil para as transmissões de TV quando se deseja eliminar informações de marketing de empresas não contratantes daquele canal, como produtos específicos, suas marcas ou emblemas. Entretanto, desde seu aparecimento, por volta dos anos 2010 na Universidade de Ilmenau na Alemanha, a tecnologia foi bastante comentada mas, aplicações práticas da RD ainda estão por vir.

2.7.4 Hiper Realidade (HR)

Assim como o virtual foi combinado com o real, o próximo passo é incrementar essa combinação, adicionando novos elementos para facilitar e potencializar a interação do usuário com os recursos de que necessita no dia a dia. Surge, desta maneira, o conceito de Hiper Realidade (Tiffin, 2001), cuja definição é: a capacidade tecnológica de combinar RV, realidade física, Inteligência Artificial e inteligência humana, integrando-as de forma natural para acesso do usuário.

A maior contribuição da Hiper Realidade (**HR**) no contexto da RM é a incorporação de Inteligência Artificial no comportamento dos “entes” aumentados no ambiente.

Ambientes de HR permitirão que habitantes reais interajam com formas de vida imaginárias ou artificiais, geradas por computador, em um mundo misturado. Esse mundo será formado por pessoas, animais, insetos, plantas, terrenos, construções e objetos virtuais inteligentes, todos integrados. Com a visão do mundo misturado, cada usuário poderá enxergar o que lhe interessa, de acordo com seu perfil ou sua necessidade, e interagir com os objetos, de forma a ter suas necessidades satisfeitas.

2.7.5 Realidade Cruzada (RC) e Virtualidade Ubíqua (VU)

O uso de dispositivos de RV, como luvas hápticas por exemplo, permite que o usuário sinta o mundo virtual “na pele” (literalmente). Feedback háptico de toque, força, colisão, temperatura e até cheiro e paladar têm sido alvo de investigações e produtos inovadores. Entretanto, quando na Realidade Misturada se tem ações no mundo virtual que repercutem no mundo real, daí tem-se a Realidade Cruzada (**RC**), ou no inglês, Cross Reality (**XR**).

Com a RC, interações ocorridas nos objetos virtuais alteram o ambiente real e também o virtual, quando isso se fizer necessário. Um interruptor de uma lâmpada ou de um ventilador no mundo virtual aumentado, por exemplo, deveria ligar a lâmpada ou o ventilador fisicamente presentes no ambiente. Este comportamento dos objetos virtuais vai além do háptico pois pode ser sentido indiretamente pelo usuário.

Claramente a RC está dependente de novos dispositivos de hardware mas, tem se tornado cada vez mais viável graças a dois fenômenos tecnológicos: a contínua

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

miniaturização dos sensores e; a Internet das Coisas (Internet of Things, do inglês, IoT). A Internet das Coisas é a tendência tecnológica de dispor em todo e qualquer objeto (principalmente os que executam algo), de uma identificação única para acesso e controle remoto pela internet.

Assim, com dispositivos cada vez mais inteligentes (capazes de identificar seus estados e condições), conectados (capazes de se comunicar com outros dispositivos) e reativos (capazes de reagir a comandos digitais), a RC é um "novo mundo" a ser explorado no contexto da Realidade Misturada.

A Virtualidade Ubíqua (**VU**), do inglês Ubiquitous Virtuality (**UV**), é uma denominação mais acadêmica e precisa para a Realidade Cruzada, onde se espera que a repercussão das ações virtuais se reflitam no mundo real, em todo lugar, em todas as formas, onde objetos virtuais se tornem objetos reais (Valente et al., 2016).

2.7.6 Virtualidade Pervasiva

A Virtualidade Pervasiva (**VP**), do inglês *Pervasive Virtuality* (**PV**), é definida como um ambiente virtual que é estendido com a incorporação de ambientes físicos, objetos físicos e informações contextualizadas. A VP apareceu para incorporar à área de RV os avanços e benefícios dos HMDs acessíveis, redes Wi-Fi de alta velocidade, tecnologias vestíveis e dispositivos sensíveis ao contexto. A VP reconhece principalmente a situação onde o físico é reconhecido (pelas suas características físicas, presença, peso, etc.) mas, é incorporado no ambiente virtual com outra "roupagem". Nesta situação, paredes lisas podem ser apresentadas com texturas de naves espaciais, bastões de plástico viram sabres de luz e ambos elementos reais são importantes na simulação virtual sendo experimentada.

Um diferencial da VP é o fato de que o conteúdo acessado pelo usuário é virtual e é incorporado em elementos físicos sejam arquiteturais, objetos, o corpo do próprio usuário ou outras características contextuais. Quanto a características contextuais considera-se desde informações e preferências do usuário e de sua colaboratividade até umidade do ar, temperatura ambiente e iluminação ambiente.

Exemplos de VP são o "The VOID" (The Void, 2017), o "Real Virtuality" (Artanim, 2017) e o "Holodeck VR" (Holodeck VR, 2017). Estas são todas consideradas novas formas de RM onde a experiência é altamente intensa e imersiva.

2.8 Considerações Finais do Capítulo

Com este capítulo fechamos a apresentação dos principais conceitos e da terminologia associados à área de Realidade Virtual e Aumentada. Você foi apresentado às definições e explicações destes termos e também de Realidade Misturada, Virtualidade Aumentada, Realidade Diminuída, Hiper Realidade, Realidade Pervasiva e Realidade

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Cruzada. Com base nestes termos, você tomou contato com as siglas que os representam, respectivamente, RV, RA, RM, RD, VA, HR, RP e RC, e seus equivalentes em inglês: VR, AR, MR, DR, AV, HR, PR e XR.

Sim, é uma sopa de letrinhas! Mas você vai se acostumar à medida que tomará contato com tecnologias, técnicas e aplicações que serão apresentadas neste livro. O intuito principal até agora foi mostrar a você a amplitude da área e suas possibilidades - que são muitas.

2.8.1 Tendências e Pesquisas em Aberto

Acompanhando a tendência do desenvolvimento de jogos para dispositivos móveis, em especial para celulares, aliado ao aumento da capacidade de processamento desses dispositivos, os *smartphones*, a RA tende a acompanhar tal evolução ficando cada vez mais popular nesses dispositivos. Mas, não será somente para entretenimento, aplicações mais sérias, nas áreas da saúde, educação e comercial por exemplo, certamente surgirão em ritmo crescente.

Como a RA é fortemente dependente das funcionalidades do rastreamento (*tracking*), pesquisas nesta área continuarão a aparecer em busca de eficiência, robustez e flexibilidade. Uma das tarefas mais desafiadoras nas pesquisas em RA é o monitoramento do ponto de vista do observador (Billinghurst, 2015: 91). O objetivo é que o sistema de RA seja capaz de entender a composição da cena para que o objeto virtual sendo inserido seja coerente com ela e possa interagir com ela (percebendo superfícies sobre as quais será inserida, por exemplo). Isto se apresenta particularmente intrincado quando se consideram aplicações na área da manutenção e montagem de produtos pois o tamanho e quantidade das peças, o seu status de montagem (possivelmente já encaixado em algo, ocultando parte de sua forma) aliado a constante presença da mão do operador ocultando partes da cena tornam este tipo de aplicação um grande desafio (Wang et al., 2016).

As câmeras de profundidade (ou câmeras RBGD, *Depth Cameras*), podem trazer grandes benefícios e facilidades para o processo de rastreamento em ambientes internos - a variedade de dispositivos nesta área e a drástica diminuição do custo delas, as tornam candidatas potenciais para complementar, ou até substituir, funcionalidades tipicamente feitas por Visão Computacional atualmente. Não obstante, para ambientes industriais onde as peças podem ser muito pequenas, com grande variação de luz, pouca texturização (peças cruas), rastrear objetos continua um grande desafio.

Para ambientes externos, a RA tem se valido muito do GPS como dispositivo de rastreamento mas, a precisão deste dispositivo é limitada para algumas aplicações então, pesquisas envolvendo técnicas complementares para suprir esta limitação se fazem necessárias.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Quanto ao realismo gráfico, ao se inserir um elemento virtual em uma cena real há uma dificuldade de renderizar o objeto 3D virtual de forma a reconhecer as características da cena onde será inserido para que essa inserção seja imperceptível. Assim, além de perceber a sua posição e orientação (como já mencionado, para o registro e rastreamento), é preciso também perceber como a cena está sendo iluminada pois o novo objeto deve ser coerente com o tipo de fonte de luz, sua cor e sua forma (imagine um spot, no meio da cena, de cor vermelha - isso certamente deveria afetar a renderização do objeto virtual também). Da mesma forma, se um objeto real vai bloquear total ou parcialmente o objeto virtual, a composição de sombras deve ser acrescentada na renderização do objeto virtual.

As técnicas de interação com os sistemas de RA ainda são uma área a ser explorada. Mais uma vez, a presença das câmeras RGBD vão trazer novas oportunidades e facilidades como o uso de gestos e a percepção da mão do usuário na cena. Por outro lado, como fazer com que isso se torne um processo natural e integrado ao ambiente parece ser um desafio interessante - ninguém parece estar disposto a fazer gestos que possam parecer exagerados, engraçados ou inusitados. Atualmente, os gestos têm sido propostos e testados mais com o foco de facilitar o funcionamento do sistema do que a execução da tarefa (Wang et al., 2016: 12).

Afora os dispositivos móveis (*handheld*), a RA baseada em visores (*head-coupled displays*) está recebendo muita atenção recentemente e tende a se tornar a nova moda de dispositivos pela praticidade e flexibilidade que isso traz. Para esta área existe grande expectativa para um futuro próximo no desenvolvimento de novos dispositivos de visualização *see-through*, que sejam mais fáceis de usar, reativos ao contexto, leves, e integrados ao dia-a-dia dos usuários. A recente descoberta do grafeno poderá levar o desenvolvimento de telas desse tipo a um novo patamar no cotidiano das pessoas e, a RA parece ser a tecnologia que mais se beneficiará desta integração. Não está longe o dia em que a visualização para RA estará na sua lente de contato.

Em termos de aplicações, se espera (Ling, 2017) que agora que a RA está madura e disponível para uma platéia mais ampla de desenvolvedores, os especialistas de domínios (conhecedores da área-problema) passem a ser os produtores de soluções com o uso da RA - e não os acadêmicos e pesquisadores, como vinha ocorrendo até então. Assim, o foco passará a ser nas funcionalidades do sistema e não mais, nos recursos de RA, somente. Assim, Inteligência Artificial, Percepção Semântica, Internet das Coisas, são recursos que se integrarão à RA promovendo experiências cada vez mais significativas e relevantes para os usuários.

Referências

ALCANTARA, Marlon Fernandes; SILVA, Alexandre Goncalves; HOUNSELL, Marcelo Silva. Enriched Barcodes Applied in Mobile Robotics and Augmented Reality. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3913-3921, 2015.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

AZUMA, Ronald et al. Recent advances in augmented reality. **IEEE computer graphics and applications**, v. 21, n. 6, p. 34-47, 2001.

BELL, Blaine; HÖLLERER, Tobias; FEINER, Steven. An annotated situation-awareness aid for augmented reality. In: **Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology**. ACM, 2002. p. 213-216.

BILLINGHURST, Mark et al. A survey of augmented reality. **Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction**, v. 8, n. 2-3, p. 73-272, 2015.

BILLINGHURST, Mark; KATO, Hirokazu; POUPYREV, Ivan. The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. **IEEE Computer Graphics and applications**, v. 21, n. 3, p. 6-8, 2001.

BIMBER, Oliver; RASKAR, Ramesh. **Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds**. CRC press, 2005.

BUCHINGER, Diego; JURASZEK, Guilherme Defreitas; HOUNSELL, M. da S. Estudo bibliométrico do crescimento da área de realidade virtual. In: **Workshop de Realidade Virtual e Aumentada**. 2012. p. 1-4.

CAUDELL, Thomas P.; MIZELL, David W. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: **System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on**. IEEE, 1992. p. 659-669.

CERQUEIRA, Christopher Shneider; KIRNER, Claudio. basAR: ferramenta de autoria de realidade aumentada com comportamento. In: **VIII Workshop de realidade virtual e aumentada. Uberaba–MG–2011**. 2011.

CORSANI, Laisi et al. Qual a melhor Realidade para Aprender Jogando: Virtual ou Aumentada?. Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2009, p. 1-10.

DOS REIS, Alessandro Vieira; DOS SANTOS GONÇALVES, Berenice. Interfaces Tangíveis: Conceituação e Avaliação. **Estudos em Design**, v. 24, n. 2, 2016.

FEINER, Steven et al. A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. In: **Wearable Computers, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on**. IEEE, 1997. p. 74-81.

FIALA, Mark. ARTag, a fiducial marker system using digital techniques. In: **Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on**. IEEE, 2005. p. 590-596.

FREEMAN, Russell; STEED, Anthony; ZHOU, Bin. Rapid scene modelling, registration and specification for mixed reality systems. In: **Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology**. ACM, 2005. p. 147-150.

GÜVEN, Sinem; FEINER, Steven. Authoring 3D hypermedia for wearable augmented and virtual reality. In: **Proceedings of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03)**. 2003. p. 21-23.

HOUNSELL, Marcelo da Silva et al. A Brief History of Virtual Reality in Brazil: A survey over the publications in the "Symposium on Virtual and Augmented Reality". **SBC Journal on Interactive Systems**, v. 5, n. 3, 2014. p. 78-92.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

INSLEY, Seth. Obstacles to general purpose augmented reality. **ECE 399H, Information Security & Cryptography, Oregon, EUA**, 2003.

KIRNER, Claudio. Mãos colaborativas em ambientes de Realidade Misturada. In: Anais do 1 o Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba, SP. 2004. p. 1-4.

KIRNER, Claudio. Prototipagem rápida de aplicações interativas de realidade aumentada. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**, v. 1, n. 1, p. 29-54, 2011.

KIRNER, Claudio; TORI, Romero. Fundamentos de Realidade Aumentada. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

LAVIOLA JR, Joseph J. et al. **3D user interfaces: Theory and practice**. Addison-Wesley Professional, 2017.

LEDERMANN, Florian; SCHMALSTIEG, Dieter. APRIL: A high-level framework for creating augmented reality presentations. In: **Virtual Reality, 2005. Proceedings. VR 2005. IEEE**. IEEE, 2005. p. 187-194.

LING, Haibin. Augmented Reality in Reality. **IEEE MultiMedia**, v. 24, n. 3, p. 10-15, 2017.

MACINTYRE, Blair et al. DART: The designer's augmented reality toolkit. In: **Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings. The Second IEEE and ACM International Symposium on**. IEEE, 2003. p. 329-330.

MILGRAM, Paul et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In: **Telemanipulator and telepresence technologies**. 1994. p. 282-292.

MUR-ARTAL, Raul; MONTIEL, Jose Maria Martinez; TARDOS, Juan D. ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 31, n. 5, p. 1147-1163, 2015.

POUPYREV, Ivan et al. Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface. In: **Interact**. 2001. p. 334-341.

PRINCE, Simon et al. 3d live: Real time captured content for mixed reality. In: **Mixed and Augmented Reality, 2002. ISMAR 2002. Proceedings. International Symposium on**. IEEE, 2002. p. 7-317.

PROVIDELO, Celso et al. Ambiente Dedicado para Aplicações Educacionais com Realidade Misturada. In: Proceedings of VII Symposium on Virtual Reality, SP. 2004.

SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. Elsevier, 2002.

SISCOUTTO, Robson Augusto; TORI, Romero. AVTC-Augmented virtuality tele-conferencing. In: **Proceedings of VII Symposium on Virtual Reality**. 2004. p. 124-136.

SCHMALSTIEG, Dieter et al. The studierstube augmented reality project. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 11, n. 1, p. 33-54, 2002.

SEICHTER, Hartmut; KVAN, Thomas. Tangible interfaces in design computing. **Virtual Environment**, v. 2, p. 159-166, 2004.

TIFFIN, John; TERASHIMA, Nobuyoshi (Ed.). **Hyperreality: Paradigm for the third millenium**. Psychology Press, 2001.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

VALENTE, Luis et al. The Concept of Pervasive Virtuality and Its Application in Digital Entertainment Systems. In: **International Conference on Entertainment Computing**. Springer International Publishing, 2016. p. 187-198.

WANG, X.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. A comprehensive survey of augmented reality assembly research. **Advances in Manufacturing**, v. 4, n. 1, p. 1-22, 2016.

ZAUNER, Jürgen et al. Authoring of a mixed reality assembly instructor for hierarchical structures. In: **Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**. IEEE Computer Society, 2003. p. 237.

ZHOU, Zhi Ying; CHEOK, Adrian David; PAN, Jiun Horng. **Interactive system and method**. U.S. Patent n. 7,295,220, 13 nov. 2007.

Sites

Artanim, 2017
http://www.artanim.ch/en/projects-detail.php
Acesso em 15/10/2017

ARToolkit.
https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/.
Acesso em 6/9/2017.

Augment.
http://www.augment.com/how-augmented-reality-works/
Acesso em 20/9/2017.

Aurasma.
https://www.aurasma.com/
Acesso em 15/10/2017

Flash
http://www.adobe.com/br/products/animate.html
Acesso em 20/9/2017.

Holodeck VR
http://www.holodeckvr.co
Acesso em 15/10/2017.

Inglobe Technologies
http://www.inglobetechnologies.com
Acesso em 15/10/2017.

Irrlicht 3d
http://www.irrlicht3d.org
Acesso em 15/10/2017.

Isdale, J. Augmented Reality 2000.
http://vr.isdale.com/vrTechReviews/AugmentedReality_Nov2000.html.

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.

Acesso em 15/10/2017.

Interaction Design Foundation. Augmented Reality – The Past, The Present and The Future.
https://www.interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past-the-present-and-the-future
Acesso em 20/9/2017.

osgART
http://www.osgart.org
Acesso em 15/10/2017

The Eye of Judgment
www.playstation.com/en-us/games/the-eye-of-judgment-ps3
Acesso em 20/9/2017

The Void.
https://www.thevoid.com/
Acesso em 15/10/2017

Total Immersion
http://www.t-immersion.com/
Acesso em 15/10/2017

Vuforia.
https://vuforia.com/
Acesso em 15/10/2017

Este documento é de circulação restrita aos participantes do SVR 2017.
Por favor não o repasse, nem disponibilize na internet.